

Prospecção de tecnologias sustentáveis de drenagem de águas pluviais como insumo para propositura de mudanças no Plano Diretor do município de Frutal, Minas Gerais

Technology prospection for sustainable drainage systems as a means to propose changes in the Master Plan of the Municipality of Frutal, Minas Gerais

Oswaldo de Freitas Fogatti^{1*} , Rodrigo Ney Millan² , Eduardo da Silva Martins² 

RESUMO

Sistemas de drenagem urbana sustentáveis (SUDS) são tecnologias que dispensam a tradicional galeria pluvial e têm como premissa a sustentabilidade. Frutal, município do estado de Minas Gerais, sofre com problemas de drenagem pluvial e está em processo de atualização de seu plano diretor. O objetivo do trabalho é discutir, em termos teóricos, a aplicação dos SUDS nesse município, apresentando sugestões para seu plano diretor, bem como realizar a prospecção de tecnologias SUDS para fundamentar futuros estudos técnicos acerca da aplicação dessas tecnologias em Frutal, contribuindo com a literatura sobre SUDS. Para tanto, adotou como procedimentos metodológicos o estudo de caso, a revisão de literatura e o mapeamento de patentes. Como resultados, o trabalho identificou os pontos críticos de inundações e processos erosivos em Frutal, enfatizando os problemas de inundação nos bairros Centro, XV de Novembro, Princesa Isabel, Jardim das Laranjeiras, Progresso, Novo Horizonte e Caju, e de processos erosivos nos bairros Ipê Amarelo e Waldemar Marchi. Expôs uma série de diretrizes sobre os SUDS que poderão nortear eventuais mudanças no plano diretor e futuros projetos legislativos e técnicos, como incentivos econômicos e campanhas de conscientização acerca dessa tecnologia, e fornece exemplos de tecnologias patenteadas que poderão ser referência para posteriores ações de drenagem urbana, especialmente do tipo pavimentos permeáveis, sobretudo para áreas com elevado índice de ocupação do solo e com dificuldades para instalação de equipamentos superficiais de drenagem.

Palavras-chave: águas pluviais; saneamento; sustentabilidade; sistemas de drenagem urbana sustentáveis; recursos hídricos.

ABSTRACT

Sustainable urban drainage systems (SUDS) are technologies that dispense traditional storm sewers and are premised on sustainability. It was found that Frutal, in the state of Minas Gerais, Brazil, suffers from problems with rainwater drainage and is in the process of updating its Master Plan. Therefore, this work aimed to discuss, in theoretical terms, the application of SUDS in this Municipality, presenting suggestions for its, as well as prospecting SUDS technologies to support future technical studies on the application of these technologies in the Municipality, also contributing to the literature on SUDS. For that, this study adopted a case study, literature review, and patent mapping as a methodological procedure. As a result, the work identified the critical points of flooding and erosion processes in the municipality of Frutal, emphasizing the problems of flooding in the Centro, XV de Novembro, Princesa Isabel, Jardim das Laranjeiras, Progresso, Novo Horizonte, and Caju districts, and erosion processes in the Ipê Amarelo and Waldemar Marchi districts. It exposes a series of SUDS guidelines that may lead eventual changes in the Master Plan and future legislative and technical projects, such as economic incentives and awareness campaigns about this technology, and provides examples of patented technologies that may be a reference for subsequent urban drainage actions, especially of the permeable pavement type, for areas with a high rate of soil occupation and with difficulties in installing surface drainage equipment.

Keywords: rainwater; sanitation; sustainability; sustainable urban drainage systems; water resources.

INTRODUÇÃO

A intensa urbanização comumente interfere no ciclo hidrológico e provoca problemas no escoamento das águas pluviais, como alagamentos, inundações,

enchentes e processos erosivos. Políticas públicas preventivas ou corretivas desses agravos são estimuladas pela legislação brasileira, que elenca o saneamento básico como direito social, preceitua que a drenagem pluvial integra as ações de

¹Universidade do Estado de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para a Inovação - Belo Horizonte (MG), Brasil.

²Universidade do Estado de Minas Gerais, Departamento de Ciências Agrárias e Biológicas - Frutal (MG), Brasil.

*Autor correspondente: fogatti@gmail.com

Conflitos de interesse: os autores declaram não haver conflitos de interesse.

Financiamento: nenhum.

Recebido: 01/04/2022 - Aceito: 22/04/2023

saneamento e traz rol de equipamentos mínimos de drenagem em loteamentos e outras formas de parcelamento do solo urbano.

Sistemas de drenagem sustentáveis (SUDS) têm sido empregados para solucionar ou reduzir os problemas citados. São técnicas, medidas e tecnologias de engenharia desenvolvidas com viés sustentável que imitam processos naturais de absorção da água ou retardamento de sua velocidade de escoamento (WANG *et al.*, 2017; WOODS-BALLARD *et al.*, 2015), surgindo como alternativa às tradicionais obras de galerias e canalizações (FLETCHER *et al.*, 2015).

O objetivo deste artigo é discutir, em termos teóricos, a aplicação dos SUDS no município de Frutal (MG), apresentando sugestões para seu plano diretor, bem como realizar a prospecção de tecnologias SUDS para fundamentar futuros estudos técnicos acerca da aplicação dessas tecnologias no município. O trabalho não tem a pretensão de avaliar os parâmetros técnicos para adoção dos SUDS, tais como a viabilidade do local ou o detalhamento de custos, limitando-se a traçar um panorama sobre os problemas de drenagem locais e apresentar tecnologias SUDS atuais que, em tese, poderiam ser aplicadas. Apesar de voltado à realidade local, suas discussões e resultados poderão ser aproveitados para municípios com características semelhantes.

METODOLOGIA

Procedimentos metodológicos

A pesquisa trata de estudo de caso, com enfoque no planejamento urbano do município de Frutal, com viés exploratório em relação à bibliografia e ao acervo documental. Desenvolveu-se em três etapas:

- análise da área urbana e pesquisa documental no Ministério Público (MP) e Corpo de Bombeiros (CB), buscando pontos de inundações, enchentes, alagamentos e processos erosivos;
- revisão sistemática de artigos científicos nas bases ScienceDirect e Scopus, com as palavras-chave “*sustainable drainage*” e “*sustainable urban drainage*” no título, entre 2011 e 2021. Os 20 primeiros artigos de cada um dos bancos de dados, classificados segundo a métrica CiteScore, foram analisados para exploração das barreiras existentes à substituição do modelo tradicional de drenagem por SUDS;
- prospecção de patentes de invenções relacionadas ao modelo de drenagem em estudo, pela plataforma Orbit Intelligence, com o seguinte *script*: “((*green roofs OR permeable pavement OR filter trench OR bioretention area OR soakaway OR infiltration trench OR infiltration basin OR rain garden OR detention basin OR retention pond OR wetland OR (sustainable and drainage)/ti and (SUDS OR wsud OR lid OR sponge city OR sponge cities OR sqid OR compensatory techniques OR CT OR source control OR LOD or LAR or sustainable drainage system)/TI/AB*))”.

Os resultados foram delimitados aos documentos ativos, visando identificar tecnologias promissoras no âmbito da drenagem urbana sustentável, com base em análise que levou em conta critérios de *performance* hidráulica, resiliência e redução de custos.

Características da área estudada

Frutal situa-se na mesorregião Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, sob influência dos biomas cerrado e mata atlântica. Possui área de 2.426,965 km², localiza-se perto da confluência dos rios Grande e Paranaíba e tem áreas topograficamente suscetíveis

a inundações nas adjacências do Rio Grande (IGAM, 2020), com maior porção da área urbana na sub-bacia do Ribeirão Frutal. Sua população é estimada em 53.468 pessoas (IBGE, 2022). Tem clima tropical, com períodos de chuvas bem definidos e precipitações concentradas entre os meses de outubro e março (BRITO; PEREIRA; MARTINS, 2017). Seu relevo é plano ou suavemente ondulado, com altitudes entre 500 e 600 m. Predominam latossolos vermelho-amarelo e vermelho, de textura arenosa ou areno-argilosa (PINHEIRO; CAETANO; PEREIRA, 2018).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pontos críticos de inundação e erosão na área estudada

Foram averiguados os principais focos de problemas de drenagem na área em estudo, coletando-se 192 documentos no MP e CB. Verificaram-se vários focos de erosão/voçoroca nas margens do Córrego Vertente Grande (região sudeste), onde se situam os bairros Ipê Amarelo e Waldemar Marchi. As áreas suscetíveis a alagamentos/inundações/enchentes se localizam na região oeste, sede de construções mais antigas, em áreas de fundo de vale, nos bairros Centro, XV de Novembro, Princesa Isabel, além de concentração expressiva de inundações/alagamentos/enchentes em bairros mais recentes: Jardim das Laranjeiras, Progresso, Novo Horizonte e Caju (Figura 1).

Segundo dados do Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB *apud* FRUTAL, 2014), apenas os bairros Centro, Alto Boa Vista, Novo Horizonte e Nossa Senhora Aparecida possuem redes de micro ou macrodrenagem por galerias, ao passo que os demais, à época da elaboração do PSMB, contavam apenas com escoamento superficial.

Conforme projeto do plano diretor apresentado em 2018, os bairros suscetíveis a inundações mencionados possuiriam taxa de ocupação, isto é, “área da projeção horizontal das edificações e a área total do terreno em que elas se situam” (ABNT, 1994), do percentual de 65% (FRUTAL, 2018), o que se mostra elevado em comparação com outros municípios próximos que também possuem problemas de drenagem, como São José do Rio Preto (SP) (60%) e Uberaba (MG) (60%), porém abaixo dos índices estabelecidos pelos municípios de Barretos (SP) (65% em geral e 90% nas áreas centrais) e Ituiutaba (MG) (80%) (BARRETO, 2008; ITUIUTABA, 2022; SÃO JOSÉ DO RIO PRETO, 2021; UBERABA, 2011). Destaca-se que a taxa de ocupação possui influência direta no adensamento urbano e, como consequência, no ciclo hidrológico.

Outro ponto a ser salientado é a taxa de permeabilidade dos bairros em comento, que foi estimada de forma indistinta em 25% no projeto de revisão do plano diretor (FRUTAL, 2018), desconsiderando as peculiaridades de cada local. Cogita-se que tal índice poderia ser ampliado nos locais mais propensos a inundações, ou delimitado a determinadas áreas do lote, como é feito pelo plano diretor de São José do Rio Preto, que estabelece taxa de permeabilidade de 50%, contudo incidente sobre o recuo frontal, permitida compensação com a área ocupada por eventual equipamento de drenagem por retenção (SÃO JOSÉ DO RIO PRETO, 2021).

Os problemas de drenagem registrados na região central, sobretudo próxima à Avenida Homero Alves Souza, se explicam pela alta declividade do terreno (17%) (RODRIGUES; PINHEIRO, 2014) e pelo subdimensionamento dos equipamentos de drenagem por galerias existentes (FRUTAL, 2014). No caso das inundações do Córrego Brejinho, que ocorrem no bairro Princesa Isabel e que acometem principalmente as vias Marechal Deodoro, Gonçalves Dias, Rua do Carmo, Silviano Brandão e João Pinheiro, os problemas originam-se do mau planejamento dos

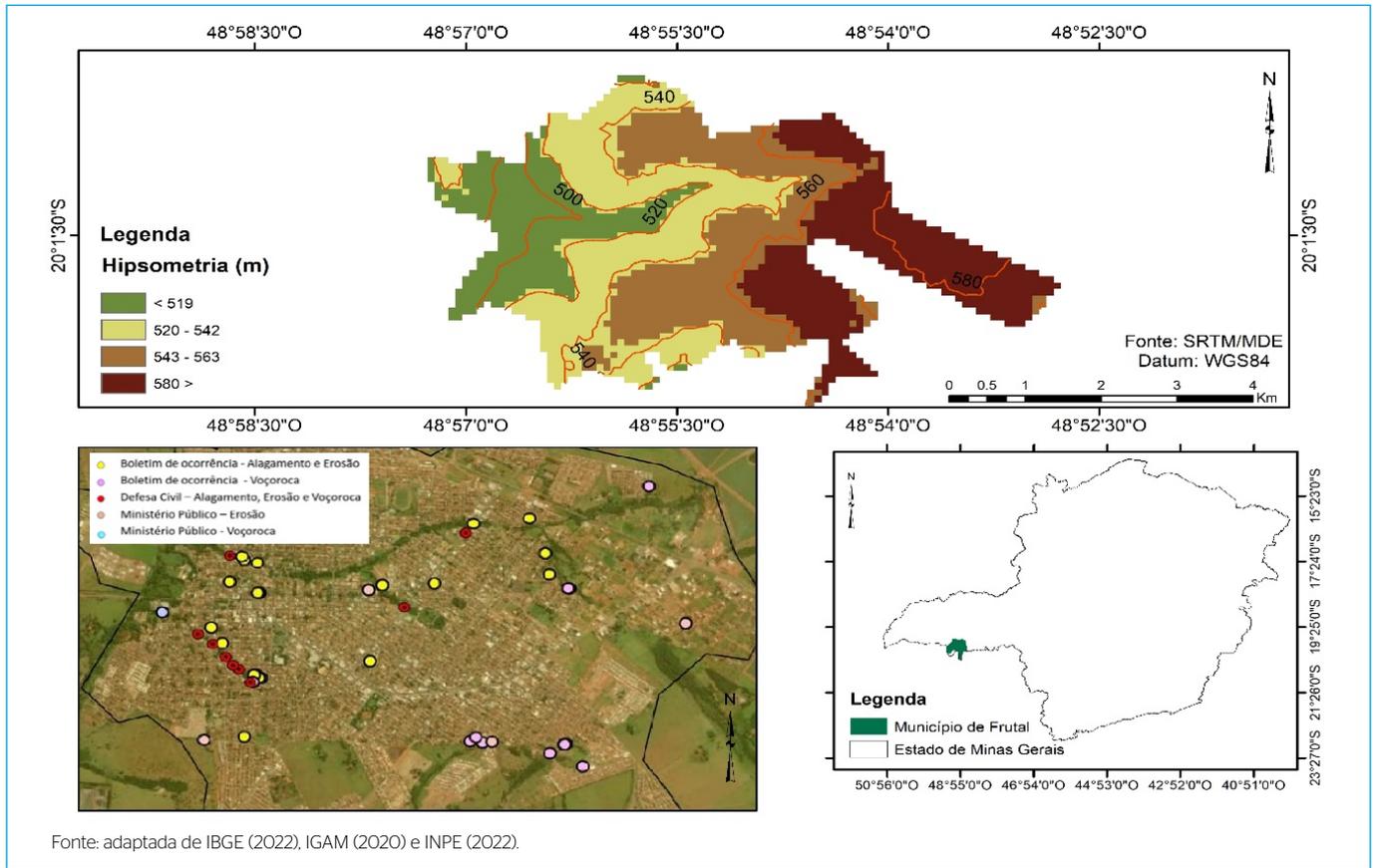


Figura 1 - Mapa hipsométrico e de localização de fenômenos de vulnerabilidade ambiental: inundações/alagamentos/enchentes e processos erosivos.

equipamentos de drenagem, com trechos em que o canal está subdimensionado em relação à vazão do córrego e outros em que as seções de vazão são superiores, observando-se inclinação apenas moderada (9%) (RODRIGUES; PINHEIRO, 2014). Em todos os casos, identificou-se omissão do poder público na manutenção e limpeza dos equipamentos existentes (FRUTAL, 2014).

Acerca dos processos erosivos, destacam-se as voçorocas no Córrego Marianinho, que decorrem tanto do adensamento populacional sem infraestrutura adequada (SILVA; PINHEIRO, 2014) quanto da supressão da vegetação em determinados pontos, que provocaram o direcionamento da água para áreas de solo arenoso, causando sulcos e ravinas que se agravaram com o tempo (SILVA, 2011).

Sistemas de drenagem sustentáveis: estado da arte

SUDS são medidas conservacionistas de drenagem cuja função é manter as águas pluviais nos locais de origem, por meio do escoamento natural e da infiltração da água no solo (CANHOLI, 2015). Diferenciam-se de outros modelos teóricos semelhantes por conta de benefícios que vão além do manejo das águas, como controle de poluentes, criação de amenidades e estímulo à biodiversidade, apresentando abordagem integral da drenagem (WOODS-BALLARD *et al.*, 2015).

Diversas barreiras à adoção dos SUDS são referidas na literatura, porém em estudos esparsos. A maior parte são incertezas sobre aspectos técnicos, custos e dificuldades políticas para substituição da drenagem cinza (convencional) por verde. Um dos principais questionamentos é a necessidade de quantificação da resiliência de diferentes SUDS a inundações (BIRGANI; YAZDANDOOST, 2018). A literatura aponta habilidade dos SUDS de reduzir o risco de inundações,

provendo resiliência aos sistemas de drenagem (BAKSHIPOUR *et al.*, 2021; CASAL-CAMPOS *et al.*, 2018; RIECHEL *et al.*, 2020; WANG; WANG, 2018).

Destacou-se o potencial dos SUDS em impedir o aporte de águas pluviais nos sistemas convencionais de captação, com boa *performance* no controle de transbordo de esgoto doméstico e consequente proteção dos ecossistemas aquáticos (PERALES-MOMPARLER *et al.*, 2017; RIECHEL *et al.*, 2020). Yang e Zhang (2021), por meio de modelos computacionais de testagem de cenários, demonstraram que a infraestrutura cinza tende a ser mais eficiente para mitigação de enchentes, ao passo que a infraestrutura verde possui melhor *performance* nos indicadores de qualidade ambiental. A combinação de ambas apresenta os melhores resultados em termos de *performance* hidráulica e proteção ambiental (SEYEDASHRAF; BOTTACIN-BUSOLIN; HAROU, 2021).

Os sistemas tradicionais de canalização provocam maiores desequilíbrios econômicos e socioambientais, embora apresentem boa *performance* de drenagem (CASAL-CAMPOS *et al.*, 2018). Logo, a substituição da infraestrutura cinza pela verde, embora recomendável do ponto de vista da sustentabilidade, pode ser postergada se fundamentada somente em aspectos volumétricos de macro e microdrenagem. Os preços de instalação ou manutenção dos equipamentos podem ser maiores, porque muitos sistemas utilizam novas tecnologias ou materiais ou são desenhados para proporcionar melhoria da qualidade hídrica e outros benefícios socioambientais abordados. Porém, a depender das características do projeto, SUDS podem ser economicamente viáveis. Faixas gramadas, jardins de chuva, bacias de retenção ou de retenção têm bom custo-benefício, ao contrário de paredes verdes, que não se justificam por uma análise estrita de custo-benefício (MUKHTAROV *et al.*, 2019).

Em regra, SUDS tendem a ser mais acessíveis para locais planos, onde as restrições de leiaute são menores (MUKHTAROV *et al.*, 2019). Sistemas convencionais de drenagem transferem custos socioeconômicos para as áreas a jusante, ficando mais suscetíveis aos problemas inerentes ao seu mau funcionamento ou a chuvas muito intensas. Esse fator precisa ser sopesado no processo de estudo do custo-benefício da infraestrutura verde, já que custos iniciais mais elevados podem justificar a proteção de áreas com maior densidade populacional, concentração de serviços públicos ou áreas comerciais.

Um dos principais aspectos qualitativos atribuídos aos SUDS é a promoção da biodiversidade, pois as instalações podem criar habitats (MONBERG *et al.*, 2018; PERALES-MOMPARLER *et al.*, 2017). A eficácia dos SUDS para neutralização de poluentes presentes nas águas pluviais foi corroborada por variados trabalhos (CHARLESWORTH; BENNETT; WAITE, 2016; MORUZZI *et al.*, 2020; SEYEDASHRAF; BOTTACIN-BUSOLIN; HAROU, 2021), destacando-se a capacidade de valas e jardins de chuva na remoção de sólidos suspensos, cobre, chumbo e zinco, porém nem todas as técnicas possuem tal característica e ainda existem incertezas inerentes à eficiência. Nesse âmbito, aponta-se estudo que, com base nos resultados apresentados pelo projeto-piloto Acquaval EU, em Valência, Espanha, revelou ser incerta a capacidade de telhados verdes na melhoria da qualidade da água (PERALES-MOMPARLER *et al.*, 2017). Pavimentos permeáveis, a seu turno, apresentaram boa capacidade de remoção de poluentes, e verificou-se que após sua desinstalação eles poderiam ser reutilizados em outras obras, na medida em que concentrações de metais tóxicos e substâncias carcinogênicas presentes nos blocos, agregados e nas fibras geotêxteis se mantiveram abaixo dos limites toleráveis estabelecidos pelo órgão regulador ambiental (MBANASO *et al.*, 2019; 2020).

Tradicionalmente, o *design* de sistemas de drenagem urbana oferece pouca ou nenhuma relevância aos aspectos estéticos. Os SUDS, por outro lado, enfatizam a necessidade de criação de amenidades mediante uso de vegetação e de técnicas de paisagismo (WOODS-BALLARD *et al.*, 2015). Mak, Scholz e James (2017) demonstraram que o processo de escolha dos SUDS pelo público leigo foi apoiado por conta das características paisagísticas dos equipamentos e pela criação de espaços de lazer. O'Donnell *et al.* (2020) investigaram que a percepção pública sobre os SUDS é fundamental para enfrentar os entraves à sua implementação e avaliaram que o uso de SUDS com plantas mais altas, normalmente empregadas em bacias de retenção ou retenção, pode ser desvantajoso, pois as plantas são avaliadas negativamente pelos moradores, que as associam a ambientes descuidados e inseguros. Williams *et al.* (2019) colocaram em evidência constantes reclamações dos moradores próximos a SUDS acerca do acúmulo de lixo e da proliferação de roedores e mosquitos, especialmente em bacias de retenção e retenção.

A superação dos entraves político-institucionais se mostrou complexa. No Reino Unido, onde SUDS são aplicados há duas décadas, há registros de impedimentos políticos, administrativos e legais para sua disseminação, verificando-se que projetos SUDS em geral têm pequena escala, comumente a nível de bairros (GIMENEZ-MARANGES; BREUSTE; HOF, 2021). Entre as causas investigadas, estão:

- ineficácia de políticas não compulsórias (ELLIS; LUNDY, 2016; GIMENEZ-MARANGES; BREUSTE; HOF, 2021);
- falta de empenho do poder público para estabelecimento de leis claras e políticas consistentes (ELLIS; LUNDY, 2016);
- ausência de políticas públicas que ofereçam incentivos econômicos aos empreendedores e usuários (MUKHTAROV *et al.*, 2019; PAPPALARDO; LA ROSA, 2020);

- ausência de políticas híbridas de saneamento urbano que vão além dos aspectos técnicos para englobar vantagens socioeconômicas (PAPPALARDO; LA ROSA, 2020);
- desconhecimento dos SUDS pela população (MUKHTAROV *et al.*, 2019).

As soluções apontadas compreendem a necessidade de instrumentos regulatórios inovadores, incentivos de mercado e políticas de informação e educação acerca dos SUDS (PAPPALARDO; LA ROSA, 2020).

Uma das políticas públicas citadas foi a necessidade, como condição de licenciamento, de que empreendimentos imobiliários formulem *designs* sustentáveis ou justifiquem as razões técnicas para utilização de infraestrutura cinza (MUKHTAROV *et al.*, 2019). Foram também indicados incentivos econômicos (MUKHTAROV *et al.*, 2019; PAPPALARDO; LA ROSA, 2020), porém sem especificações sobre sua natureza (subsídios, benefícios tributários etc.) ou extensão. Por fim, fez-se menção ao patrocínio estatal a campanhas publicitárias para conscientização da população acerca dos benefícios dos SUDS (MUKHTAROV *et al.*, 2019). O desequilíbrio entre os custos e ganhos sociais com a adoção dos SUDS também se apresentou como entrave.

Sistemas de drenagem tradicionais são propícios ao estabelecimento de injustiças ambientais, pois apenas transferem o problema de escoamento e drenagem hidráulica para áreas a jusante (LA ROSA; PAPPALARDO, 2020). Todavia, mesmo com a adoção de SUDS, é possível que injustiças ambientais sejam criadas ou intensificadas, porque seus custos podem ser socializados sem que haja contrapartida dos benefícios de *performance* e de amenidades entre todos os pagantes.

Patentes ligadas aos sistemas urbanos de drenagem sustentáveis

Prospectaram-se 161 famílias de patentes, 139 delas ativas. Descartaram-se 65 por irrelevância ou falta de referência ao estado da técnica. Das 74 restantes, a primeira constatação foi a de que desenvolvimento de pavimentos permeáveis representou a maioria dos esforços inventivos do setor, correspondendo a 59 documentos, sendo consequência direta das possibilidades mais concretas de inovação inerentes ao desenvolvimento de materiais, além da apropriação mais eficiente desses inventos e subsequente fiscalização.

Wetlands foram o segundo tipo de equipamento com maior número de invenções (11), seguidos de jardins de chuva (três), barris de chuva (dois) e lagoas de retenção (um). Apesar de as bacias de retenção e detenção serem os equipamentos SUDS mais citados na literatura especializada, foram objeto de apenas um documento patentário. Isso se apresenta como consequência da saturação da tecnologia, há anos consolidada na engenharia civil, porém determinados avanços no desenvolvimento de *wetlands*, a princípio, poderiam ser aproveitados em lagoas, bacias de retenção e de retenção, pois todos têm estruturas e funções semelhantes. Foram encontradas 19 invenções expressivas em termos de eficiência hidráulica, resiliência e redução de custos (Quadro 1).

Deve-se ressaltar que os documentos patentários não apresentaram estimativas precisas acerca dos custos de construção, operação e manutenção das invenções, sendo necessários estudos mais aprofundados para confirmação das vantagens. Expressivos avanços estão sendo obtidos no campo dos pavimentos permeáveis, o que se revela interessante para áreas de risco em que há elevada ocupação do solo e carência de espaço para instalação de equipamentos superficiais de drenagem, como é o caso de Frutal.

Quadro 1 - Documentos de patentes examinados que apresentaram vantagens em termos de performance hidráulica, resiliência e redução de custos.

Referência	Código	Tipo de tecnologia
Qian <i>et al.</i> (2017)	CN107794822	Pavimentos permeáveis
Tang <i>et al.</i> (2016)	CN106242383	Pavimentos permeáveis
Wang e Yao (2019)	CN110396233	Pavimentos permeáveis
Li (2018)	CN209602919	Pavimentos permeáveis
Wang, Tian e Wang (2018)	CN108484120	Pavimentos permeáveis
Shu <i>et al.</i> (2020)	CN111441216	Pavimentos permeáveis
Liu <i>et al.</i> (2020)	CN111648189	Pavimentos permeáveis
Zhang <i>et al.</i> (2020)	CN11118998	Pavimentos permeáveis
Ding (2019)	CN210315113	Pavimentos permeáveis
Jia <i>et al.</i> (2019)	CN110981286	Pavimentos permeáveis
Yuan <i>et al.</i> (2019)	CN210002201	Pavimentos permeáveis
Zhou, Qiu e Du (2019)	CN209759936	Pavimentos permeáveis
Ouyang (2020)	CN213446717	Wetlands
Wang, Che e Xie (2020)	CN112158958	Wetlands
Wang <i>et al.</i> (2018)	CN208933184	Wetlands
Zong <i>et al.</i> (2021)	CN112681480	Wetlands
Brian e Neil (2014)	GB2529588	Barris de chuva / jardins de chuva
Park <i>et al.</i> (2016)	KR10-1674126	Jardins de chuva
Gu <i>et al.</i> (2017)	CN106930397	Lagoas de retenção

As tecnologias objeto dos documentos de patentes CN107794822, CN106242383, CN110396233, CN209602919, CN108484120, CN111441216, CN111648189, CN11118998, CN210315113, CN110981286, CN210002201 e CN209759936 se mostraram propícias para a solução dos problemas de inundação enfrentados na área em estudo, como os bairros XV de Novembro, Princesa Isabel, Centro, Ipê Amarelo, Waldemar Marchi, Jardim das Laranjeiras, Progresso, Novo Horizonte e Caju, pois poderiam ser instaladas no subsolo de calçadas e vias, sem a necessidade de desapropriação de áreas privadas, o que reduziria os custos das obras e os impactos socioeconômicos das medidas, ressaltada a necessidade de estudos técnicos para corroborar tais apontamentos. Um dos principais impedimentos para instalação de tais pavimentos em vias trafegáveis é a baixa resistência dos tijolos (WOODS-BALLARD *et al.*, 2015), problema este em tese minimizado nas invenções de documentos CN106242383, CN110396233, CN108484120, CN111441216 e CN11118998.

CONCLUSÕES

Após o exame de documentos públicos da área em estudo, foi realizado levantamento dos pontos críticos de inundações, alagamentos, enchentes e processos erosivos, concluindo-se que áreas dos bairros Centro, XV de Novembro, Princesa Isabel, Jardim das Laranjeiras, Progresso, Novo Horizonte e Caju, em Frutal, são suscetíveis a inundações, ao passo que áreas situadas entre os bairros Ipê Amarelo e Waldemar Marchi são suscetíveis a processos erosivos do tipo voçoroca. Observou-se omissão do poder público local na delimitação de parâmetros adequados de ocupação e impermeabilização das referidas áreas, na ausência de implementação de equipamentos adequados de drenagem ou na manutenção dos existentes.

Com base na revisão sistemática de literatura e na prospecção de patentes sobre SUDS, foram levantadas as seguintes orientações, que poderão subsidiar o processo de revisão do plano diretor de Frutal, bem como futuros trabalhos técnicos no âmbito local para redução dos citados problemas relacionados à drenagem urbana:

- prevalece a conclusão de que apenas políticas públicas centralizadas, mandatórias e consistentes são suficientes para a mudança de paradigma para a drenagem sustentável;
- entre as políticas sugeridas, os incentivos econômicos foram as que mais se destacaram, porém sem aprofundamento suficiente na literatura investigada;
- as invenções descritas nos documentos CN107794822, CN106242383, CN110396233, CN209602919, CN108484120, CN111441216, CN111648189, CN11118998, CN210315113, CN110981286, CN210002201 e CN209759936 podem, em tese, contribuir para a solução ou minimização de inundações e processos erosivos em áreas críticas de Frutal, destacando-se a possibilidade de utilização dos inventos CN106242383, CN110396233, CN108484120, CN111441216 e CN11118998 na pavimentação das vias de tráfego, ressaltada a necessidade de estudos técnicos mais aprofundados.

Pesquisas futuras poderão explorar a viabilidade das estratégias político-institucionais sugeridas, especialmente para aprofundar os tipos de benefícios econômicos que poderiam ser ofertados pelo Estado para estimular a adoção dos SUDS.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

Fogatti, O.F.: Análise Formal, Metodologia, Escrita – Primeira Redação, Escrita – Revisão e Edição. Millan; R.N.: Supervisão, Metodologia, Escrita – Revisão e Edição. Martins, E.S.: Supervisão, Metodologia, Escrita – Revisão e Edição.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR-6505*. Índices urbanísticos. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

BAKHSIPOUR, A.; DITTMER, U.; HAGHIGHI, A.; NOWAK, W. Toward sustainable urban drainage infrastructure planning: a combined multiobjective optimization and multicriteria decision-making platform. *Journal of Water Resources and Planning Management*, v. 147, n. 8, p. 04021049, 2021. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0001389](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0001389)

BARRETOS. *Lei Complementar nº 94, de 28 de novembro de 2008*. Altera a LC nº 73/2006. Barretos: Câmara Municipal, 2008. Disponível em: <https://tinyurl.com/2p9abzw4>. Acesso em: 1º dez. 2022.

BIRGANI, T.; YAZDANDOOST, F. An integrated framework to evaluate resilient-sustainable urban drainage management plans using a combined-adaptive MCDM technique. *Water Resources Management*, v. 32, n. 8, p. 2817-2835, 2018. <https://doi.org/10.1007/s11269-018-1960-2>

- BRIAN, D.; NEIL, C. *Sustainable drainage device*. Depositante: C & D Associates. GB2529588. Depósito: 23 set. 2014.
- BRITO, S.F.; PEREIRA, T.T.C.; MARTINS, I.C. Sediments of watersheds from Frutal and Bebedouro Streams (Frutal, MG, Brazil) as an indicator of human activities. *Ambiente & Água*, v. 12, n. 1, p. 17-32, 2017. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1978>
- CANHOLI, A.P. *Drenagem urbana e controle de enchentes*. 3. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.
- CASAL-CAMPOS, A.; SADR, S.M.K.; FU, G.; BUTLER, D. Reliable, resilient and sustainable urban drainage systems: an analysis of robustness under deep uncertainty. *Environmental Science and Technology*, v. 52, n. 16, p. 9008-9021, 2018. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b01193>
- CHARLESWORTH, S.M.; BENNETT, J.; WAITE, A. An evaluation of the use of individual grass species in retaining polluted soil and dust particulates in vegetated sustainable drainage devices. *Environmental Geochemistry and Health*, v. 38, n. 4, p. 973-985, 2016. <https://doi.org/10.1007/s10653-016-9791-7>
- DING, F. *Permeable pavement*. Depositante: Suzhou Construction Engineering Design Inst Co Ltd. Procurador: Lu, Mingyao. CN210315113. Depósito 24 abr. 2019. Concessão: 28 jun. 2020.
- ELLIS, J.B.; LUNDY, L. Implementing sustainable drainage systems for urban surface water management within the regulatory framework in England and Wales. *Journal of Environmental Management*, v. 183, part 3, p. 630-636, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.09.022>
- FLETCHER, T.D.; SHUSTER, W.; HUNT, W.F.; ASHLEY, R.; BUTLER, D.; ARTHUR, S.; TROWSDALE, S.; BARRAUD, S.; SEMADENI-DAVIES, A.; BERTRAND-KRAJEWSKI, J.-L.; MIKKELSEN, P.S.; RIVARD, G.; UHL, M.; DAGENAIS, D.; VIKLANDER, M. SUDS, LID, BMPs, WSUD and more: The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. *Urban Water Journal*, v. 12, n. 7, p. 525-542, 2015. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2014.916314>
- FRUTAL. *Plano Municipal de Saneamento Básico*. Frutal: Prefeitura de Frutal, 2014. Disponível em: frutal.siscam.com.br. Acesso em: 1º dez. 2022.
- FRUTAL. *Projeto de Lei Complementar nº 108, de 10 de agosto de 2018*. Dispõe sobre a revisão do plano diretor sustentável de Frutal/MG. Frutal: Câmara Municipal, 2018. Disponível em: <https://frutal.siscam.com.br/Documentos/Documento/55827>. Acesso em: 1º dez. 2022.
- GIMENEZ-MARANGES, M.; BREUSTE, J.; HOF, A. A new analytical tool for a more deliberate implementation of Sustainable Drainage Systems. *Sustainable Cities and Society*, v. 71, p. 102955, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102955>
- GU, L.; WU, J.; HUA, Z.; ZHAO, X.; LIU, X.; DAI, B. *Bio-retention pond capable of continuously processing initial rainwater in drought period*. Depositante: Hohai University. Procurador: Li, Xiojing. CN106930397. Depósito: 7 mar. 2017. Concessão: 20 abr. 2018.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Cidades*: Frutal. Brasília: IBGE, 2022. Disponível em: <https://ibge.gov.br/>. Acesso em: 1º dez. 2022.
- INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DE ÁGUAS (IGAM). *Comitês*. Belo Horizonte: IGAM, 2020. Disponível em: <https://comites.igam.mg.gov.br/conheca-a-bacia-gd8>. Acesso em: 1º dez. 2022.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). *Topodata*. Brasília: INPE, 2022. Disponível em: <https://dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>. Acesso em: 1º dez. 2022.
- ITUJUTABA. *Projeto de Lei Ordinária CM 1, de 1º de fevereiro de 2022*. Institui parâmetros urbanísticos. Ituiutaba: Câmara Municipal, 2022. Disponível em: <https://www.ituiutaba.mg.leg.br/leis/lei-municipal>. Acesso em: 1º dez. 2022.
- JIA, J.; WANG, X.; XIN, X.; ZHANG, P.; ZHOU, X. *Asphalt mixture for color porous pavement upper layer and preparation method*. Depositante: China National Chemical Communications Construction Group. Procurador: Lu, Limin. CN110981286. Depósito: 25 dez. 2019. Concessão: 14 jan. 2022.
- LA ROSA, D.; PAPPALARDO, V. Planning for spatial equity-A performance based approach for sustainable urban drainage systems. *Sustainable Cities and Society*, v. 53, p. 101885, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101885>
- LI, P. *Double-layer water-filtering permeable pavement under sponge city*. Depositante: Chongqing University. Procurador: Chen, Qian. CN209602919. Depósito: 28 fev. 2018. Concessão: 8 nov. 2019.
- LIU, M.; LIU, J.; HU, S.; ZHANG, G.; ZHU, X. *Permeable paving system, device and method for urban water system ecological governance*. Depositante: Zhengzhou Lyuyin Water Conservancy & Soil Conservation Technology Service. Procurador: Fu, Hongli. CN111648189. Depósito: 28 jun. 2020. Concessão: 30 mar. 2021.
- MAK, C.; SCHOLZ, M.; JAMES, P. Sustainable drainage system site assessment method using urban ecosystem services. *Urban Ecosystems*, v. 20, n. 2, p. 293-307, 2017. <https://doi.org/10.1007/s11252-016-0593-6>
- MBANASO, F.U.; CHARLESWORTH, S.M.; COUPE, S.J.; NEWMAN, A.P.; NNADI, E.O. Reuse of materials from a Sustainable Drainage System device: Health, Safety and Environment assessment for an end-of-life Pervious Pavement Structure. *Science of the Total Environment*, v. 650, parte 2, p. 1759-1770, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.224>
- MBANASO, F.U.; CHARLESWORTH, S.M.; COUPE, S.J.; NEWMAN, A.P.; NNADI, E.O. State of a sustainable drainage system at end-of-life: assessment of potential water pollution by leached metals from recycled pervious pavement materials when used as secondary aggregate. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 27, n. 5, p. 4630-4639, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06480-5>
- MONBERG, R.; HOWE, A.G.; RAVN, H.P.; JENSEN, M.B. Exploring structural habitat heterogeneity in sustainable urban drainage systems (SUDS) for urban biodiversity support. *Urban Ecosystems*, v. 21, n. 6, p. 1159-1170, 2018. <https://doi.org/10.1007/s11252-018-0790-6>
- MORUZZI, R.; LIMA, J.L.M.P.; ABRANTES, J.R.C.B.; SILVEIRA, A. Liquid phase nonpoint source pollution dispersion through conveyance structures to sustainable urban drainage system within different land covers. *Ecological Engineering*, v. 158, p. 106012, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.106012>
- MUKHTAROV, F.; DIEPERINK, C.; DRIESSEN, P.; RILEY, J. Collaborative learning for policy innovations: sustainable urban drainage systems in Leicester, England. *Journal of Environmental Policy & Planning*, v. 21, n. 3, p. 288-301, 2019. <https://doi.org/10.1080/1523908X.2019.1627864>
- O'DONNELL, E.; MASKREY, S.; EVERETT, G.; LAMOND, J. Developing the implicit association test to uncover hidden preferences for sustainable drainage systems. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, v. 378, n. 2168, p. 20190207, 2020. <https://doi.org/10.1098/rsta.2019.0207>
- OUYANG, Y. *Sponge city wetland sewage purification system*. Depositante: Chongqing Xiheng Engineering Consulting. CN213446717. Depósito: 24 set. 2020. Concessão: 15 jun. 2021.
- PAPPALARDO, V.; LA ROSA, D. Policies for sustainable drainage systems in urban contexts within performance-based planning approaches. *Sustainable Cities and Society*, v. 52, p. 101830, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101830>

- PARK, M.; LEE, S.W.; KANG, H.M.; NOO, H.Y. *Vegetation soil for rain garden*. Depositante: Group Han. Procurador: You, Sang Moo. KR10-1674126. Depósito: 12 maio 2016.
- PERALES-MOMPARLER, S.; ANDRÉS-DOMÉNECH, I.; HERNÁNDEZ-CRESPO, C.; VALLÉS-MORÁN, F.; MARTÍN, M.; ESCUDER-BUENO, I.; ANDREU, J. The role of monitoring sustainable drainage systems for promoting transition towards regenerative urban built environments: a case study in the Valencian region, Spain. *Journal of Cleaner Production*, v. 163, supl. 1, p. S113-S124, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.153>
- PINHEIRO, L.S.; CAETANO, J.S.; PEREIRA, T.T.C. Mapeamento geomorfológico da bacia hidrográfica do Ribeirão Frutal (Frutal - MG). In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 12., 2018, Crato. *Anais...* 2018. Disponível em: <https://sinageo.org.br/2018/trabalhos/9/9-299-1129.html>. Acesso em: 1º dez. 2022.
- QIAN, Z.; YIN, S.; XUE, Y.; XIA, D. *Permeable pavement based on sponge city concept*. Depositante: Southeast University. Procurador: Xu, Yunhua. CN107794822. Depósito: 28 set. 2017. Concessão: 31 mar. 2020.
- RIECHEL, M.; MATZINGER, A.; PALLASCH, M.; JOSWIG, K.; PAWLOWSKY-REUSING, E.; HINKELMANN, R.; ROUAULT, P. Sustainable urban drainage systems in established city developments: Modelling the potential for CSO reduction and river impact mitigation. *Journal of Environmental Management*, v. 274, p. 111207, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111207>
- RODRIGUES, B.C.; PINHEIRO, L.S. Análise da dinâmica hídrica superficial no carreamento e depósito de sedimento na área urbana de Frutal-MG. *Revista Geonorte*, v. 5, n. 23, p. 68-72, 2014. Disponível em: <https://periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/1655>. Acesso em: 1º dez. 2022.
- SÃO JOSÉ DO RIO PRETO. *Lei nº 13.709, de 14 de janeiro de 2021*. Dispõe sobre zoneamento urbano. São José do Rio Preto: Prefeitura de São José do Rio Preto, 2021. Disponível em: https://www.riopreto.sp.gov.br/wp-content/uploads/arquivosPortalGOV/plano-diretor-21/Zoneamento/Zoneamento_Uso_e_Ocupacao_do_Solo.pdf. Acesso em: 1º dez. 2022.
- SEYEDASHRAF, O.; BOTTACIN-BUSOLIN, A.; HAROU, J.J. Many-Objective Optimization of Sustainable Drainage Systems in Urban Areas with Different Surface Slopes. *Water Resources Management*, v. 35, n. 8, p. 2449-2464, 2021. <https://doi.org/10.1007/s11269-021-02840-4>
- SILVA, V.C. *Análise geomorfológica em encosta de voçoroca: o caso da cabeceira do Córrego do Marianinho*. 2011. 100f. Monografia (Graduação em Geografia) - Universidade do Estado de Minas Gerais, Frutal, 2011.
- SILVA, V.C.; PINHEIRO, L.S. Estudo geomorfológico para o planejamento ambiental: o caso das erosões lineares na cidade de Frutal/MG. *Revista Geonorte*, v. 5, n. 23, p. 359-363, 2014. Disponível em: <https://periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/1724>. Acesso em: 1º dez. 2022.
- SHU, X.; SHEN, L.; LIU, R.; CAI, L.; ZHANG, Y.; LIN, H.; CUI, D.; LI, D.; LIU, Z. *Permeable pavement paving system based on sponge city*. Depositante: Shanxi Traffic Technology Research & Development. Procurador: Yi, Wei. CN111441216. Depósito: 4 abr. 2020. Concessão: 24 jul. 2020.
- TANG, W.; SHEN, L.; JIANG, X.; SUN, Q.; KONG, A. *Sponge city ecological water-permeable pavior brick, and preparation method thereof*. Depositante: Shaoxing Vocational & Technical College. Procurador: Lian, Ping. CN106242383. Depósito: 12 jul. 2016. Concessão: 15 maio 2018.
- UBERABA. *Lei Complementar nº 456, de 2011*. Dispõe sobre uso e ocupação do solo. Uberaba: Câmara Municipal, 2011. Disponível em: <http://www.uberaba.mg.gov.br/portal/conteudo,1077>. Acesso em: 1º dez. 2022.
- WANG, J.; CHE, S.; XIE, Z. *Artificial rainwater wetland system for sponge city construction and capable of strengthening pollutant removal*. Depositante: Shanghai Jiao Tong University. Procurador: Jiang, Liangzhu. CN112158958. Depósito: 28 set. 2020.
- WANG, K.; YAO, A. *Ecological water permeable pavement brick for sponge city and preparation method of pavement brick*. Depositante: Chang'an University. Procurador: Hui, Wenxuan. CN110396233. Depósito: 29 jul. 2019. Concessão: 8 out. 2021.
- WANG, L.; TIAN, X.; WANG, X. *Ceramic water permeable brick for sponge city permeable pavement system and manufacturing technology thereof*. Depositante: Xi An Xuchang Building Material. CN108484120. Depósito: 30 maio 2018. Concessão: 8 set. 2018.
- WANG, M.; SWEETAPPLE, C.; FU, G.; FARMANI, R.; BUTLER, D. A framework to support decision making in the selection of sustainable drainage system design alternatives. *Journal of Environmental Management*, v. 201, p. 145-152, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.06.034>
- WANG, S.; WANG, H. Extending the Rational Method for assessing and developing sustainable urban drainage systems. *Water Research*, v. 144, p. 112-125, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.07.022>
- WANG, X.; ZHANG, B.; LI, S.; ZHANG, F.; LIN, W. *Stepped riverway waterfront wetland infiltration system based on sponge city*. Depositante: Tianjing University. Procurador: Wu, Xueying. CN208933184. Depósito: 15 ago. 2018. Concessão: 4 jun. 2019.
- WILLIAMS, J.B.; JOSE, R.; MOOBELA, C.; HUTCHINSON, D.J.; WISE, R.; GATERELL, M. Residents' perceptions of sustainable drainage systems as highly functional blue green infrastructure. *Landscape and Urban Planning*, v. 190, p. 103610, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.103610>
- WOODS-BALLARD, B.; WILSON, S.; UDALE-CLARKE, H.; ILLMAN, S.; ASHLEY, R.; KELLAGHER, R. *The SUDS manual*. Londres: Ciria, 2015. Disponível em: <https://ciria.org>. Acesso em: 1º dez. 2022.
- YANG, W.; ZHANG, J. Assessing the performance of gray and green strategies for sustainable urban drainage system development: A multi-criteria decision-making analysis. *Journal of Cleaner Production*, v. 293, p. 126191, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126191>
- YUAN, L.; CHEN, M.; ZHOU, C.; LIN, M.; YU, J.; WANG, X. *Permeable pavement green belt drainage kerb rain-sewage separation regulation and storage system*. Depositante: Fujian Longxiang Construction. Procurador: Wang, Guiming. CN210002201. Depósito: 24 maio 2019. Concessão: 31 jan. 2020.
- ZHANG, X.; TIAN, Y.; LIU, J.; GUO, S.; LI, H.; ZHANG, Z.; TAN, C. *Permeable pavement facility and preparation method and application thereof*. Depositante: Beijing University of Civil Engineering & Architecture. Procurador: Chen, Changmei. CN111118998. Depósito: 19 jan. 2020.
- ZHOU, F.; QIU, Y.; DU, Y. *Permeable pavement structure based on construction waste crushed materials*. Depositante: Hunan University. CN209759936. Depósito: 28 jan. 2019.
- ZONG, Y.; ZHANG, R.; LIU, Q.; LI, C.; HE, W.; XI, D.; ZHOU, N.; BI, J.; ZHANG, P. *Annular sponge wetland garden and construction method thereof*. Depositante: Jiangsu Long Leaping Engineering Design. Procurador: Han, Lian. CN112681480. Depósito: 7 jan. 2021.